

# ÇİFT KATLI ASANSÖRLERİN TRAFİK MODELLEMESİ VE ANALİZİ

Murat KOCAMAN<sup>1</sup>, C. Erdem İMRAK<sup>2</sup>

İTÜ Makina Fakültesi

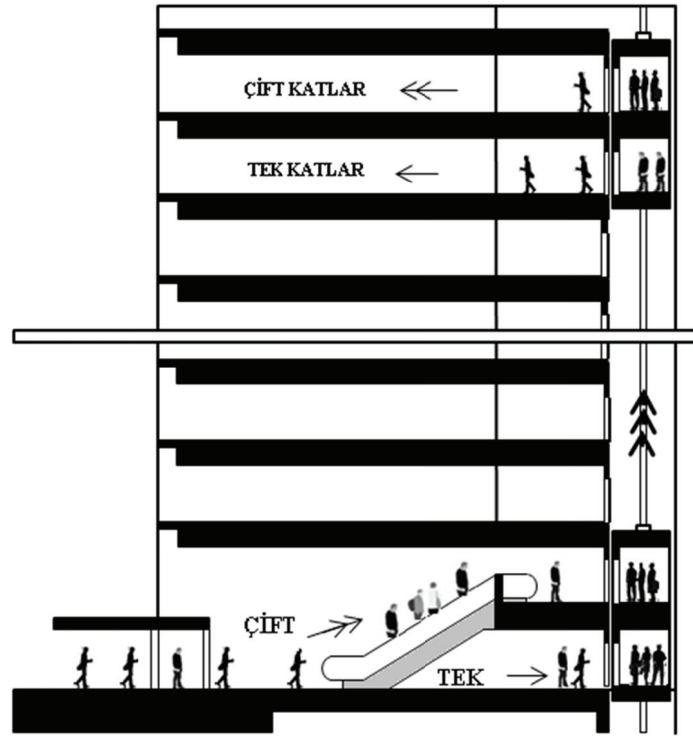
<sup>1</sup>murat83kocaman@yahoo.com, <sup>2</sup>imrak@itu.edu.tr

## ÖZET

Günümüzde kullanılmakta olan asansör sistemleri özellikle yüksek katlı binalarda yetersiz kalmaktadır. Bu zorlukların önüne geçilmesi amacıyla geliştirilmiş olan çift katlı asansör sistemleri tek seferde daha fazla birimin taşınmasını sağlar ve daha da gelişmiş sistemlerde çıkılan hızlar çok yüksek değerlere ulaşmaktadır. Böylelikle tek katlı asansörlerle kıyaslandığında, aynı süredeki taşıma kapasitesi önemli ölçüde artmaktadır. Bu çalışmanın içeriği çift katlı asansörler hakkında genel bilgi, trafik hesapları ve bu hesapların tek katlı asansörlerdekiyle karşılaştırılmasından oluşmaktadır.

## 1.GİRİŞ

Günümüzde çok katlı binalardaki dikey taşımacılık kavramı özellikle kat sayısı arttıkça daha da önem kazanmaktadır ve çok yüksek kat seviyelerine ulaşıldığında mevcut taşıma sistemlerinin yetersiz olduğu görülmektedir. Bu yetersizliğin önüne geçebilmek için asansör teknolojisinde çift katlı asansörler kullanılmaya başlanmıştır. Yapının özelliklerine bağlı olarak tek ve çift katlı asansörler birlikte de kullanılabilir [1,2].



Şekil 1. Çift katlı asansörlü sistemin genel görünümü

Çift katlı asansör sistemlerinde tek ve çift katlar için üstüste konumlanmış iki kabinden biri kullanılır. Alt kabin tek numaralı katlara giderken, üst kabin çift katlara hizmet verir. Şekil 1’de çift katlı asansör sisteminden oluşan bir yapının şematik olarak gösterimi verilmiştir. Tek ve çift

katlar arası geçişler içinse yine Şekil 1'de gösterilmiş olan yürüyen merdivenler kullanılmaktadır.

Ana giriş katında ise üst kabin için girişin üzerine veya tam tersi girişin altına ilave bir lobi katı ve yolcuları yönlendirecek yürüyen merdivenler kullanılmalıdır. Yapılan çalışmalara göre çift katlı asansörler yaygın olarak Kuzey Amerika'da ve özellikle çok yüksek katlı binalarda kullanılmaktadır [3,4]

## 2. ÇİFT KATLI ASANSÖRLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ

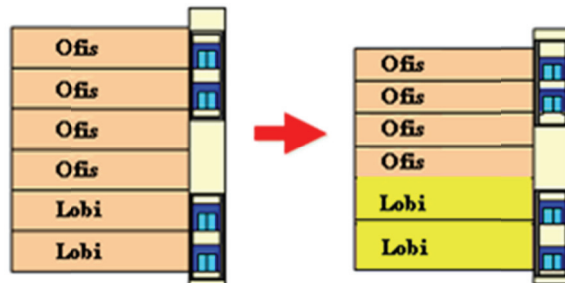
Çift katlı asansörler, geleneksel asansörlerle kıyaslandığında pek çok avantaj barındırır. Bu avantajlar aynı yapıdaki tek katlı sistemle kıyaslanarak değerlendirilir. Çift katlı asansör sistemlerinin birçok avantajları olduğu kadar dezavantajları da bulunmaktadır. Bu avantajların belli başlıcaları şunlardır:

- Çift katlı asansörler aynı yapıda tek katlı geleneksel asansörlerin ortalama olarak 1,5 katı taşıma kapasitesi sağlar.
- Sistemdeki asansör sistem sayısı daha azdır.
- Gereken hız değeri daha düşüktür. Buna rağmen son dönemlerde oldukça yüksek hızlara ulaşılmıştır.
- Asansör kabini durak sayısı daha azdır.
- Daha küçük boyutlu kabinler yeterlidir.
- Seyir süreleri daha azdır.
- Montaj süreleri daha düşüktür.
- Bakım masrafları daha azdır.

Bu avantajların yanında bir takım dezavantajları da bulunur. Bunlar şöyle sıralanabilir;

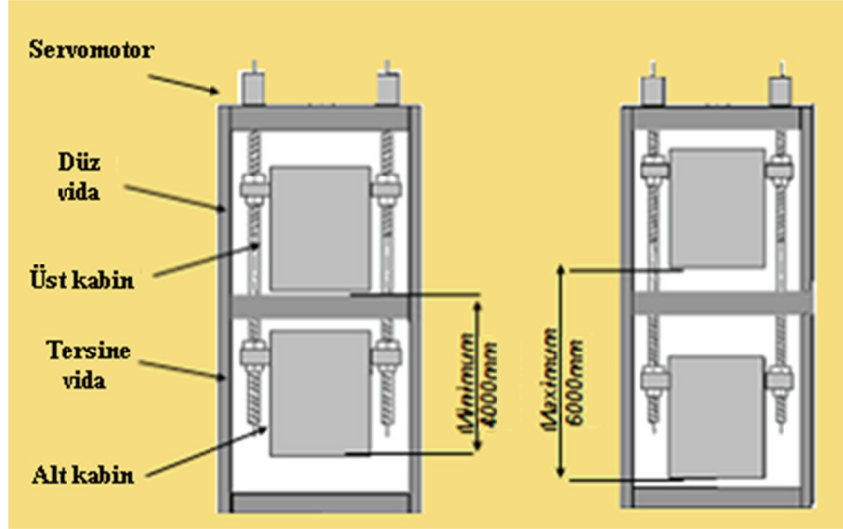
- Sistem gereksinimlerinin karşılanabilmesi için gereken yolcu sayısı yüksek olmalıdır.
- Her bir kattaki ortalama kişi sayısı sistemi karşılayabilecek şekilde fazla olmalıdır.
- Tek ve çift katlara hizmet veren alt ve üst kabin talepleri dengeli olmalıdır.
- Lobi girişleri geniş olmalıdır.
- Tek ve çift katlar arası geçişleri için yürüyen merdiven gibi ekstra sistemler gereklidir.
- Katlar arası mesafeler aynı olmalıdır.

Yüksek katlı yapılarda katlar arası mesafelerin eşit olarak ayarlanması çift katlı asansörlerde karşılaşılan en büyük zorluklardan biridir. Bu durumun şematik olarak gösterimi Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Katlar arası mesafe farklılıklarının şematik olarak gösterimi

Çift katlı asansör sistemlerindeki katlararası mesafe farklarından kaynaklanan problemlerin çözümü için ayarlanabilir kat mesafeli çift katlı asansör sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler özellikle yapılardaki yüksek maliyetlerin önüne geçilmesi konusunda büyük kolaylık sağlamıştır.



Şekil 3. Ayarlanabilir çift katlı asansörlerin şematik gösterimi

Sistemin işleyişi Şekil 3'ten de anlaşılacağı gibi farklı katlarda alt ve üst kabinlerin arasındaki mesafenin değiştirilmesi şeklindedir. Böylece bu işleyiş tüm katlarda kullanılabilir.

### 3. ÇİFT KATLI ASANSÖRLERDE TRAFİK HESABI

Çift katlı asansörler tek ve çift olmak üzere iki ayrı kabin olarak değerlendirilebilir. Tek katlara hizmet eden kabindeki yolcu sayısı  $P_o$  ve çift katlıdaki yolcu sayısı  $P_e$  olmak üzere her iki kabin de ana lobinin üstünde kalan  $N$  tane kata servis verecek şekilde değerlendirilir. Kabinler birbirinden bağımsız olarak düşünülür. Bir kabinin diğer bir kabin durduğu için durması bu varsayımın dışındadır. Literatürde bulunan çalışmalar [4-15] neticesinde tek kabin için ortaya konulan trafik modelleme ve hesaplama esasları çift katlı asansörler için adapte edilmiştir. Peters, geliştirdiği ifadeleri kullanarak bir simülasyon paket programına çift katlı asansör trafik analizini ilave etmiştir [6]. Siikonen ise, çalışmalarında çift katlı asansörlerin trafik modelleriyle kontrol algoritmalarının işleyişini irdelemekte ve çift katlı asansörlerin bina sirkülasyonuna olumlu etkisini belirtmektedir [12, 13, 15].

Çift katlı asansörlerin trafik hesapları, Barney tarafından önerilen tek kabin için olan hesapların Kavounas tarafından yukarı-yoğun trafik için adapte edilmiş haline dayanmaktadır. Bu hesaplamalar için aşağıdaki kabuller yapılması gereklidir [3,5].

- Çift katlı asansörler çift sayıda katı bulunan binalara hizmet eder
- Tüm kabinler aynı kapasitedir.
- Aynı ulaşma profili kullanılır

Gidiş dönüş süresi RTT, tek kabinli sistemdekiyle benzer olarak ele alınır. Çift katlı asansör trafik hesabını oluşturan her bir terim için varsayım ve açıklamalar şu şekildedir;

**Durak sayısı:** Çift katlı asansörlerde, ana lobinin üstünde  $2N$  kat bulunuyorsa olası durak sayısının  $N$  olduğu varsayılır.

**Yolcu sayısı:** Teorik olarak her bir kabin kendi yolcu sayısına sahiptir. Tek katlardakiler  $P_o$  ve çift katlardakiler  $P_e$  değerlerine sahiptir. Pratik olarak her bir kabin aynı yolcu sayıdadır. Bu durumda  $P_o = P_e = P'$  dir.  $P$  her bir kabindeki yolcu sayısıdır.

**Nominal hızdaki hareket süresi:** Çift katlı asansörlerde kabin sistemi katları ikişer ikişer geçtiğinden geleneksel asansörlerdeki hareket süresi  $t_v$  bu sistemler için  $2t_v$  değerini alır.

En yüksek dönüş katı; kabinlerdeki yolcu sayısının eşit olmadığı varsayılırsa en yüksek dönüş katı en fazla yolcuya sahip olan kabinin durumuna bağlı olarak değerlendirilir. Bu durumda, en yüksek dönüş katı  $H_d$ , tek ve çift kabinlerdeki en yüksek yolcu sayısına bağlı olarak;

$$H_d = \text{maksimum}(H_o, H_e) \quad (1)$$

şeklinde gösterilir.  $P_o = P_e = P$  varsayımına bağlı olarak da,  $H_e = H_o = H$  olur. Buna bağlı olarak tek katlı geleneksel sistem için olası en yüksek dönüş katı değeri, yolcu sayısı  $P$  ve lobi üstündeki olası kat sayısı  $N$  olmak üzere;

$$H = N - \sum_{i=1}^{N-1} \left(\frac{i}{N}\right)^P \quad (2)$$

olur. Olası durak sayısı; her bir kabinin kendi olası durak sayısı değerine sahip olduğu kabul edilmekle beraber, pratik olarak  $P_o = P_e = P$  varsayımından yola çıkılarak  $N$  değerinin her bir kabin için eşit olduğu varsayılırsa ve  $P$  değerinin çift katlı sistemde  $2P$  değerini alacağı düşünülürse olası durak sayısı  $S_d$ ;

$$S_d = N \left[ 1 - \left(\frac{N-1}{N}\right)^{2P} \right] \quad (3)$$

formülüyle hesaplanır. Aynı formülün  $S$  cinsinden gösterimi de (4)'teki gibidir ve bu bağıntı, Barney tarafından önerilmektedir.

$$S_d = 2S - \frac{S^2}{N} \quad (4)$$

$S_d$  büyüklük olarak  $S_o + S_e \geq S_d$  değerine sahip olur. Buna bağlı olarak  $S_d$  en yüksek değerini gidiş-dönüş süresi içerisinde tek ve çift katlardaki kabinlere hiçbir kat çağırısı olmaması durumunda alır.

Tek ve çift kat kabinleri için rasgele durak sayısı: Ortalama rasgele durak sayısı  $S_c$  ise;

$$S_c = S_o + S_e - S_d \quad (5)$$

geçerlidir. Burada  $S_e$  çift katlara hizmet eden kabinin ortalama rasgele durak sayısını ve  $S_o$  tek katlara hizmet eden ortalama rasgele durak sayısıdır.  $S_d$  ise çift katlı kabin sisteminin hizmet ettiği ortalama rasgele durak sayısıdır.  $P = P_e = P_o$  için  $S_e = S_o = S$  olduğu varsayılırsa;

$$S_c = 2S - S_d = \frac{S^2}{N} \quad (6)$$

şeklinde gösterilir.

Burada hesabın kolaylaştırılması için

$$S_d = 2S - \frac{S^2}{N} = S \left[ 2 - \frac{S}{N} \right]$$

Eğer sistemdeki iki kabin birbirinden bağımsız olsalardı, her biri S adet durakta duracaktı, ancak bu iki kabin birbirine bağlı olduğundan tek numaralı ve çift numaralı katlarda aynı anda her iki kabin birden yükleme ve boşaltma için duracaktır. Hemen hemen her zaman iki kabinin aynı durma anında yolcu transferi olma ihtimali bulunmakla birlikte, birinde yolcu transferi olurken diğerinin gereksiz yere durması durumları da meydana gelecektir. Buna göre her iki kabinin aynı zamanda yolcu transferinin rastgelmesi (denk düşmesi) durumu için tesadüf eden muhtemel durak adedi

$$S_c = 2S - S_d$$

Olacaktır. Bu tesadüf etmeyen muhtemel durak adedi ise,

$$S_n = S_d - S_c$$

İle ifade edilir.

Çift katlı asansörlerin güçlü bir alternatif olup olmadığı, faydalılık oranı ile ifade edilmektedir. Kavounas bu faydalılık oranını, aynı zamanda her iki kabinde yolcu transferinin gerçekleştiği tesadüfi durak adedinin bu tesadüfin gerçekleşmediği muhtemel durak adedine oranı olarak belirlenmiştir [5]. Buna göre,

$$FM = \frac{S_c}{S_d} = \frac{1}{2\frac{N}{S} - 1}$$

olarak tanımlıdır. Faydalılık oranı %100 tam değere yaklaşması beklenmektedir.

Tek ve çift kat kabinleri için rasgele olmayan durak sayısı;

$$4Htv + [S(2 - \frac{S}{N}) + 1]t_s = Pt_1 + P(2 - \frac{S}{N})t_u \quad (7)$$

formülüyle gösterilir.

Yolcu kabine biniş-iniş süresi: Çift katlı asansörlerde her tek ve çift katlara hizmet eden alt ve üst kabinlerin aynı sürede dolduğu varsayılır.  $P_e = P_o = P$  olduğu varsayıldığında;

$$\text{Yolcu biniş süresi} = \text{maksimum}(P_e, P_o) \times t \quad (8)$$

formülüyle hesaplanır.

Yolcuların iniş süresinin de  $t_u$  olduğu düşünülürse, en yüksek yolcu iniş süresi;

$$(P_e + P_o) \times t_u \quad (9)$$

hesabıyla bulunur. Yine  $P_e = P_o = P$  olduğu varsayılarak;

$$\text{Maksimum yolcu iniş süresi} = 2P \times t_u \quad (10)$$

olur.

Toplam gidiş-geliş süresi RTT hesaplanırken, olası duraklarda inen yolcu sayısı hesaplanmalıdır. Bunun için yolcu sayısının durak sayısına oranı belirlenerek ortalama bir değere ulaşılabilir. Çift katlı sistemler için çift katlı kabinin hizmet verdiği katlardaki inen yolcu sayısı  $Q_e = P_e / S_e$ , tek katlı kabinin hizmet verdiği katlardaki inen yolcu sayısı  $Q_o = P_o / S_o$  olarak hesaplanabilir. İki

kabin birbirine bağlı olduğundan bu oranların değişmediği varsayılır. Bu durumda Rasgele duraklarda inen yolcu sayısı  $P_c$  ile gösterilirse;

$$P_c = Q_o S_c + Q_e S_c = P_o S_o / S_o + P_e S_e / S_e \quad (11)$$

eşitliğine ulaşılır.  $P_e = P_o = P$ ,  $S_e = S_o = S$  ve  $Q_e = Q_o = Q$  varsayımlarıyla;

$$P_c = Q_e S_c + Q_o S_c = 2Q S_c = 2 \frac{PS}{N} \quad (12)$$

olur.

Alt ve üst kabinde inen yolcuların aynı anda indiği varsayımından yola çıkarak toplam iniş süresi  $P_c t_u / 2$  ile gösterilebilir. Rasgele olmayan duraklarda inen kalan yolcu sayıları da  $P_e + P_o - P_c = P_t - P_c$  olarak bulunur. Toplam iniş süresi;

$$P_c t_u / 2 + (P_t - P_c) t_u \quad (13)$$

(13) nolu eşitlik  $P_t t_u - \frac{P_c t_u}{2}$  olarak da gösterilebilir.  $P_t = 2P$  için;

$$\text{Toplam yolcu iniş süresi} = P \left( 2 - \frac{S}{N} \right) t_u \quad (14)$$

olur. Tüm bu terimlere bağlı olarak çift katlı asansör kabini için toplam gidiş geliş süresi RTT;

$$\text{RTT} = 4Htv + \left[ S \left( 2 - \frac{S}{N} \right) + 1 \right] t_s = P t_1 + P \left( 2 - \frac{S}{N} \right) t_u \quad (15)$$

bulunur. Bu ifadede yer alan  $t_v$ ,

$$t_v = \frac{2 \cdot d_f}{v}$$

ile hesaplanır. Burada  $d_f$ , katlararası mesafe ve  $v$  asansör hızıdır. Ayrıca durma zamanları hesap edilirken tek katı geçme süresi,

$$t_f = \frac{a}{j} + \sqrt{\left( \frac{a}{j} \right)^2 + 4 \left( \frac{d_f}{a} \right)}$$

dir. Burada  $d_f$ , katlararası mesafe,  $a$  asansör ivmesi ve  $j$  asansör ivmesindeki değişme (sıçrama) değeridir. Bu durumda kapı açma zamanı  $t_o$  ve kapı kapanma zamanı  $t_c$  alındığında,

$$t_s = t_o + t_c + t_f - t_v$$

Kavounas'ın yaptığı çalışmayla yolcu transfer süresi hesabında, yolcuların binmesine dair terim  $P \cdot t_p$  olarak kalacağını, ancak farklı kabinlerde (alt kabin / üst kabin) farklı sayıda yolcunun inmesi durumu nedeniyle yolcuların inmesine dair terimin  $P \left( 2 - \frac{S}{N} \right) \cdot t_p$  olacağı sonucuna varmıştır [5].

Barney, çok büyük kabin kapasitesi olan asansörler için yüksek katlı binalarda  $S \rightarrow N$  olacağını ve bu durumda  $(2 - S/N)$  teriminin 1 değerini alacağını ve sonuçta tek kabinli sistemle aynı çevrim zamanı elde edileceğini vurgulamıştır.

Hesaplanan periyod INT değeri çift katlı asansör adedi L olmak üzere,

$$INT = \frac{RTT}{L}$$

Olacaktır. Beş dakikadaki taşıma kapasitesi ise, kabin kapasitesi CC olmak üzere,

$$HC5 = 2 \cdot \frac{60 \cdot 5}{RTT} \cdot (\%80 \cdot CC) \cdot L$$

Bağıntısı ile hesaplanır. Beş dakika zarfında bina nüfusunun taşınacağı yüzdelik miktarı ise

$$\%POP = \frac{HC5}{Bina \ nüfusu} \cdot 100$$

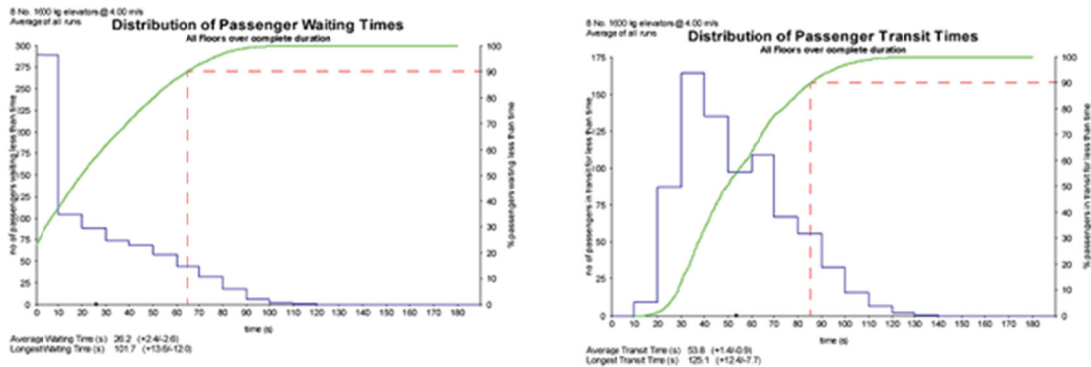
İle kolaylıkla bulunabilir.

Asansör sisteminin çalışma performansı üç parametre ile ölçülmektedir: yukarı yöndeki taşıma kapasitesi, yukarı-yoğun periyod ve bina nüfusunun hizmet alma yüzdelik değeri.

#### 4. ÇİFT KATLI ASANSÖR UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Yüksek katlı bir bina için çift katlı asansör alternatiflerinin değerlendirilmesi ele alınacaktır. Örnek ofis binasında giriş üzerinde 30 kat bulunmakta, toplam kiralanabilir alan 31720 m2 olup, her 20 m2 için bir kişi olduğu bilinmektedir. Bu durumda bina nüfusu 1586 kişi ve efektif olarak binada bulunanlar (%15 olmaması hali için) 1348 kişi için asansör hizmet sunacaktır. Ortalama her katta 62 kişi olduğu ve ulaşma oranı (hizmet oranı) %12 olarak kabul edilmiştir. Katlararası mesafe 4 metre olup, giriş katı sadece 8 metre yüksekliğindedir. Binanın işleyişi ve trafik durumu dikkate alınarak “destination control” kullanımına karar verilmiştir. Trafik analizi için Elevate yazılımı kullanılmıştır.

Binanın işleyişi ve trafik durumu dikkate alınarak “destination control” kullanımına karar verilmiştir. Yapılan modelleme ve analiz sonunda elde edilen ortalama bekleme zamanı (AWT) ve ortalama seyir zamanı (ATT) grafikleri Şekil 4’de görülmektedir.



Şekil 5. Çift katlı asansör için yukarı trafik simülasyon sonuçları

Yapılan çalışmalarda tek kabin ve çift kabin için farklı tasarım bilgilerine ait karşılaştırmalı bekleme zamanı, kata ulaşma süresi ve faydalılık oranı gibi parametreler Çizelge 1’de gösterilmiştir.

**Çizelge 1.** Çift katlı asansörlerin verimlilik gösterim tablosu

Kabin adedi	Tek kabin	Çift kabin			
	8	8	6	4	4
Kapasite	1600 kg / 21 kişi	1600 kg / 21 kişi	1600 kg / 21 kişi	1600 kg / 21 kişi	1600 kg / 21 kişi
Hız	4 m/s	4 m/s	4 m/s	4 m/s	3 m/s
INT	79.1	41.1	61	104	110.9
RTT	632.9	329	366.1	415.8	443.5
Kapasite oranı	70.1	19.4	28.8	49.1	52.4
AWT	60.7	21.3	30.3	64	67
ATT	70.2	45.3	52.8	75.8	79.7
ATD	130.9	66.6	83.2	139.8	147.2
Faydalılık oranı	--	46.5	62.6	83.3	85.2

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada çift katlı asansör sistemlerinin genel özellik ve kullanım amaçları ele alınmıştır. Yüksek katlı yapılarda sağladığı avantajlar ve bu sistemlerin kullanılmasının gerekliliğinden bahsedilmiştir. Tek katlı asansörlerle kıyaslandığında ne gibi getirileri olduğuna değinilmiştir. Çok yüksek katlı binalarda kullanılması kaçınılmaz olan bu sistemlerin trafik hesabı esasları detaylı olarak verilmiştir. Çizelge 1’de de görülebileceği üzere çift katlı asansörler, geleneksel sistemlerle aynı şartlarda ele alındığında yüksek verimliliğe sahiptir. Kendi aralarında ise, aynı kapasite için sistemdeki toplam kabin sayısı ve asansör hızları arttıkça ortalama bekleme süreleri (AWT), aktarma zamanları (ATT) ve duraklar arası erişim süreleri (ATD) azalır. Aynı çift katlı sistemler için ise daha düşük hızlarda ATT, AWT ve ATD değerlerinin sistemi etkileyecek düzeyde artış gösterdiği söylenebilir. RTT değerindeki avantaj da çift katlı sistemlerin en önemli özelliklerinden birisidir.

#### KAYNAKLAR

- [1] **Kocaman, M.** 2012. Product Design Assembly Application, Traffic Design and Simulation on Double Deck Elevator Systems, Y.Lisans Tezi, İTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
- [2] **Strakosch, G.R., Caporale, R.S.,** 2010. *The Vertical Transportation Handbook*. John Wiley & Sons, New York.
- [3] **Barney, G.C.,** 2003. *Elevator Traffic Handbook*. Spon Press, London.
- [4] **Fortune, J.W.,** 1995. Modern Double Deck Elevator Applications and Theory *Elevator Technology 6, Proc. of ELEVCON 1995*. Editör G.C.Barney. IAEE Publ., Hong-Kong, s. 230-238.
- [5] **Kavounas, G.T.,** 1989. Elevatoring Analysis with Double-deck Elevators *Elevator World*. 11/89 Nowember 1989, s. 65-72.
- [6] **Peters, R.D.,** 1995. General Analysis Double Decker Lift Calculation *Elevator Technology 6, Proc. of ELEVCON 1995*, Editör G.C.Barney. IAEE Publ., Hong Kong, s. 165-174.
- [7] **Fortune, J.W.,** 1986. Top/Down Sky Lobby Lift Design *Elevator Technology , Proc. of ELEVCON 1986*. Editör G.C.Barney. IAEE Publ., Karlsruhe, s. 149-153.
- [8] **Fortune, J.W.,** 1990. Top/Down Lift Design – Case Study *Elevator Technology 3, Proc. of ELEVCON 1990*. Editör G.C. Barney. IAEE Publ., Milano, s. 73-82.



- [9] **Fortune, J.W.**, 1992. Elevatoring Frank Lloyd Wright's Mile-High Building *Elevator Technology 4, Proc. of ELEVCON 1992*. Editör G.C.Barney. IAEE Publ., Amsterdam, s. 86-95.
- [10] **Fortune, J.W.**, 1997. Mega High Rise Elevatoring *Elevator Technology 8, Proc. of ELEVCON 1997*. Editör G.C.Barney. IAEE Publ., Shanghai, s. 11-20
- [11] **Schroder, J.**, 1990. Elevatoring for Modern Supervisory Techniques *Elevator Technology 3, Proc. of ELEVCON 1990*. Editör G.C.Barney. IAEE Publ., Rome, s. 179-188.
- [12] **Sorsa, J., Siikonen, M-L.**, 2006. Double-deck Destination Control System, *Elevator Technology 16, Proc. of ELEVCON 2006*. Editör A. Lustig. IAEE Publ., Helsinki, s. 318-327.
- [13] **Siikonen, M-L.**, 1998. Double-deck Elevators: Savings in Time and Space, *Elevator World*, Vol.46 (7), s. 65-69.
- [14] **Fujita, Y., Shimazaki, T., Kondou, N., Mishima, K., Nakada, Y.** 2002. Double-Deck Elevators with Adjustable Floor Height, *Elevator Technolgy 12, Proc. of ELEVCON 2002*. Editör A. Lustig. IAEE Publ., Milano, s. 91-99.
- [15] **Siikonen, M-L.**, 2000. On Traffic Planning Methodology, *Elevator Technolgy 10, Proc. of ELEVCON 2000*. Editör A. Lustig. IAEE Publ., Berlin, s. 267-274